Détection d’une exoplanète : vitesse radiale et transit

Introduction:

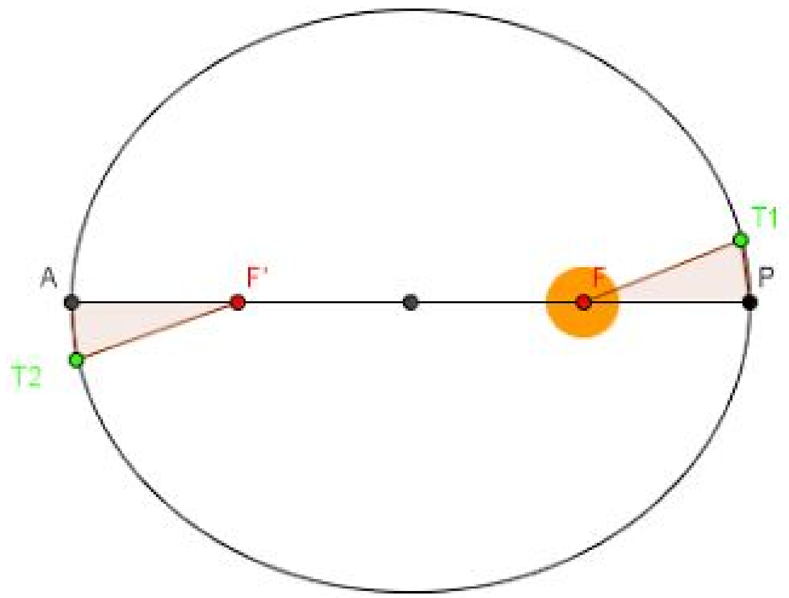
Les exoplanètes sont des planètes qui ne tournent pas autour du Soleil, elles tournent autour d'une autre étoile. On parle aussi de planètes extrasolaires c’est-à-dire en dehors du système solaire.
L’étude et la détection des exoplanètes se font dans la voie lactée.
Dans notre étude de la détection des exoplanètes, on prendra comme exemple l’exoplanète Planet HD 29021 qui a été détectée à l’aide de la méthode avec les vitesses radiales.

I. <u>Mouvement d’un système planète / étoile</u>

A. Lois de Kepler

D'après la première loi de Kepler ou “loi de orbites”, les planètes décrivent des ellipses dont un des foyers est une étoile.

Selon la deuxième loi de Kepler ou “loi des aires”, chaque surface balayée entre deux positions de la planète sur sa trajectoire sont égales pour une même durée. On en déduit donc que sa vitesse est variable en fonction de sa position : plus la planète est près de l’étoile autour de laquelle elle orbite plus sa vitesse augmente et de même, plus est est loin, plus sa vitesse diminue.



B. Période de révolution d’une planète (3ème loi de Kepler)

D’après la 3ème loi de Kepler, le carré de la période de révolution d’une planète est proportionnel au cube de la longeure du demi grand axe de son orbite:

$$\frac{T^2}{a^3}=K$$ *où K= AB/2*

Lorsqu'on assimile la trajectoire de la planète observée à une trajectoire circulaire et à l'aide de la seconde loi de Newton, il est possible avec relativement peu d'information d'en déduire la vitesse de la planète. Nous verrons que cela nous sera très utile par la suite.

C. Rotation du système

Un système planète/étoile ne tourne pas forcément autour du centre de l'étoile. La rotation s'effectue autour du centre de masse (aussi appelé barycentre).
Il est possible de le calculer à l'aide de la formule suivante:

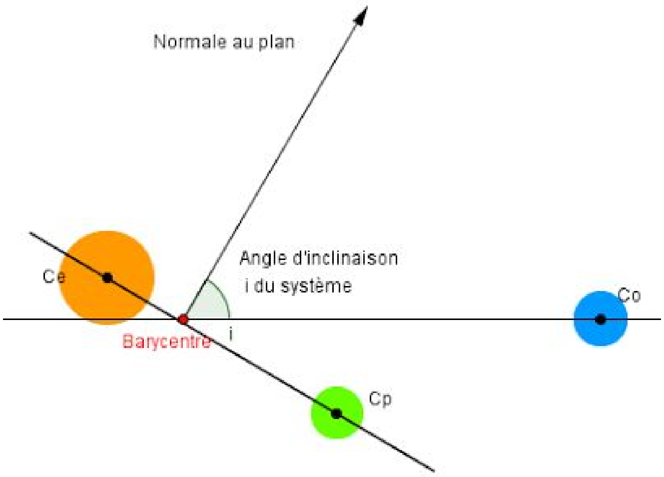
$$\overrightarrow{R_C} = \overrightarrow{OC} = \frac{m_1\overrightarrow{r_1} + m_2\overrightarrow{r_2}}{m_1 + m_2}$$

Dans la plupart des cas, l'étoile est beaucoup plus massives que la planète. D'après la formule ci-dessus nous pouvons en déduire que le centre de l'étoile et le barycentre sont donc très proche (généralement à l'intérieur de l'étoile). Néanmoins il est possible d'observer une légère rotation du centre de l'étoile autour du centre de masse.

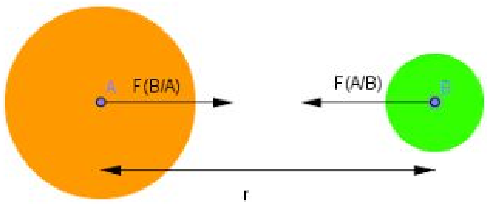
II. <u>Méthode de détection par vitesse radiale</u>

A. Paramètres mis en jeu

On prend le système où il y a une étoile, une planète et un observateur qui est immobile. On trace un plan dans l'orbite de l'étoile, on trace la normale au plan et une ligne de visée passant par le lieu de l'observation jusqu'au barycentre de ce système.Cette ligne de visée est perpendiculaire au plan de l'orbite. L'angle entre la ligne de visée et la normale au plan nous donne l'angle i qui correspond à l'inclinaison du système.



Une force gravitationnelle s'exerce entre l'étoile et la planète d'après la formule:



$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r^2}$$

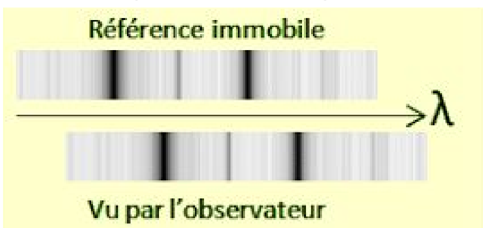
Donc l'étoile effectue un mouvement de révolution autour du barycentre grâce à la force gravitationnelle qui s'exerce sur elle. Or on rappelle que l'observateur est fixe et l'étoile en mouvement, ce qui implique que la distance entre l'observateur et l'étoile varie. De plus, la lumière émise par l'étoile aura une longueur d'onde qui varie selon la distance de l'observateur. Il s'agit de l'effet Doppler-Fizeau: plus on s'éloigne de la zone d'émission des ondes, plus la longueur d'onde diminue avec une fréquence faible et réciproquement. Comme il s'agit d'une orbite circulaire, le décalage spectral passe périodiquement du bleu au rouge. En effet, à l'aide d'un spectroscope, on peut visualiser le spectre d'une étoile. Selon le moment, les raies d'absorptions ont une longueur d'onde qui varie périodiquement. On peut alors en déduire la présence d'une exoplanète et également en déduire la période P
On peut alors déterminer la vitesse radiale du système:

$V r = \frac{\lambda - \lambda 0}{\lambda 0} * c$ avec λ *la longueur d'onde observée*

$\lambda 0$ *la longueur d'onde observée à l'observatoire*

c *la célérité de la lumière*

Si on obtient une vitesse radiale positive, cela signifie que l'étoile s'éloigne de l'observateur donc il s'agit d'un décalage vers le rouge.



"Mettre une illustration ou photo simulation"

Dans le cas où la vitesse radiale a une valeur négative, l'étoile s'approche de l'observateur et on observe alors un décalage vers le bleu.

"Mettre une illustration ou photo simulation"

A partir de la vitesse radiale de l'étoile, on peut en déduire la distance entre le centre de gravité et l'étoile:

$$r_e = P * V_r * \frac{1}{2\pi}$$

On peut alors en déduire la masse de l'étoile M_e à partir de l'analyse spectrale d'où on peut définir la distance r_p entre l'exoplanète et le centre de masse:

$$r_p = \sqrt[3]{(G * P * Me)/(4\pi^2)}$$

On peut en déduire la masse de l'exoplanète m_p d'après cette formule:

$$m_p * r_p = M_e * r_e \Leftrightarrow m_p = (M_e * r_e)/r_p$$

La masse de l'exoplanète est exprimée en fonction de la masse de Jupiter. En effet, la plupart des exoplanètes détectées par cette méthode sont des planètes massives et elles sont du même type que la planète Jupiter.

.

On peut aussi déterminer le demi-grand axe a de la trajectoire de la planète:

$a = \frac{G*Me}{4\pi^2}$ avec G la constante universelle de gravitation

M_e la masse de l'étoile

Une exoplanète est également caractérisée par son excentricité orbitale. En effet, l'excentricité orbitale permet de définir la forme de l'orbite d'une planète. On note l'excentricité orbitale note e et celle-ci est comprise entre 0 et 0.90. Si l'orbite a une forme quasi-circulaire alors l'excentricité orbitale est proche de 0, si l'orbite de la planète a une forme elliptique très allongée alors son excentricité est proche de 0.90.

On va chercher pour une exoplanète à définir son excentricité. Il existe deux méthodes possibles, la première méthode consiste à utiliser le demi-grand axe et ainsi que la distance entre un des foyers de l'ellipse et le centre de l'ellipse que l'on notera d.

On peut calculer la distance entre un des foyers de l'ellipse et le centre de l'ellipse en déterminant la distance du segment perpendiculaire à la droite passant par les deux foyers de l'ellipse.

B. Intérêts de cette méthode

C. Ces limites

Cependant, cette méthode a ses limites à cause des limitations instrumentales et astrophysiques. En effet, toutes les exoplanètes ne sont pas découvertes puisque que la détection des exoplanètes dépend des caractéristiques de la planète.

1. *Les limitations techniques*

Tout d'abord, la principale limitation technique est dûe à la difficulté de voir le décalage spectrale, on observe un décalage spectrale très faible lors de la présence d'une exoplanète. De plus, cette détection se complique par la présence de plusieurs exoplanètes autour d'une étoile car cela implique plusieurs décalages spectrales qui se superposent entre eux. Mais ces limites proviennent également de la résolution du spectre de l'étoile. En effet, plus la résolution sera bonne, plus le décalage spectral sera précis et visible.

2. *Les limitations astrophysiques*

On peut plus facilement détecter des exoplanètes géantes et proches de leur étoile par la méthode des vitesses radiales puisqu'elles permettent de mieux repérer un décalage spectral sur le spectre de l'étoile.

Cependant, il est difficile de repérer des exoterres car elles sont placées (à dvlpper) dans la zone habitable, c'est-à-dire autour de 1 Unité Astronomique (UA) pour le Soleil. La zone habitable varie selon la masse de l'étoile